Partie 6
Fertigation

Introduction : définitions, avantages, contraintes 132

Calcul de la concentration de la solution dans l'eau d'irrigation 134

Calcul appliqué à un dilueur (ou fertiliseur) 134
Calcul appliqué à une pompe à injection 138

Autre technique de calcul : utilisation d'abaques 142

Explication de l'abaque I 142
Explication de l'abaque II 142
Application à la fertigation avec un dilueur et avec une pompe à injection 142

Facteurs chimiques d'obstruction des goutteurs 146

Causes chimiques 146
Conseils pour éviter les colmatages chimiques 146

Facteurs biologiques d'obstruction des goutteurs 150

Causes biologiques 150
Conseils pour éviter les colmatages biologiques 150

Annexes : fiches mode d'emploi pour la fertigation avec une pompe à injection de type AMIAD® 152

Fiche compte rendu agriculteur 152
Fiche technicien 154

Introduction : définitions, avantages, contraintes

La fertigation désigne l'apport de l'engrais à la culture par un réseau d'irrigation de type localisé, comme la micro-irrigation (goutte-à-goutte). Le réseau d'irrigation localisée est une installation fixe qui comporte des matériels d'injection (dilueurs, pompes doseuses hydrauliques, pompes doseuses électriques) pour distribuer l'engrais aux cultures.

L'objectif de cette partie est de faire le point sur les conditions techniques à respecter pour réaliser dans de bonnes conditions la fertilisation d'une culture par le réseau d'irrigation. Cette partie présente les calculs nécessaires à la préparation des solutions fertilisantes et à leur injection dans le réseau, les précautions à prendre face aux risques de précipitation des matières, à l'obstruction des réseaux ou à la mauvaise répartition au champ.

Outre la fertilisation nécessaire à la croissance de la plante, le système en goutte-à-goutte permet l'injection de nombreux autres produits (herbicides, nématicides, insecticides, fongicides…).

La fertigation présente les avantages suivants :
– économie de main-d'œuvre ;
– à rendement égal par rapport à une parcelle non irriguée, économie d'engrais du fait d'une meilleure efficacité des éléments minéraux apportés dans le sol à proximité des racines (d'où une meilleure nutrition) ;
– possibilité d'automatiser ;
– limitation de la pollution des nappes (surtout par les nitrates), si la technique est correctement employée.

D'un autre côté, la fertigation présente des contraintes techniques (tableau 48), dont on tiendra compte dans l'étude du réseau et dans la réalisation pratique. Pour éviter ces inconvénients, les six conseils suivant doivent être appliqués à la lettre :

1- Préparer une solution mère fertilisante en respectant la solubilité des formes d'engrais utilisées.

2- Respecter les normes de concentration de l'eau d'irrigation : la concentration doit être inférieure ou égale à 5 ‰ (0,5 %, c'est-à-dire au maximum 5 g d'engrais par litre).

3- Ne jamais commencer l'injection du fertilisant par une séquence d'irrigation tant que le réseau n'a pas atteint la pression normale de fonctionnement.

4- Terminer toute fertigation par une séquence d'irrigation à l'eau pure (15 minutes) qui permettra de rincer les filtres et les rampes et de diluer la solution du sol (pour éviter des toxicités, qui peuvent se produire avec des solutions préparées).

5- Après chaque fertigation, vérifier que le fertilisant a totalement disparu, vérification indispensable lorsque l'on doit injecter successivement des produits qui risquent de former un précipité.

6- Injecter l'engrais en aval du filtre à sable et en amont du filtre à tamis, parce que l'injection de fertilisants dans l'eau favorise le développement de microorganismes et d'algues dans les filtres à sable.

Quelques définitions

La solution mère est la solution fertilisante (ou solution nutritive) injectée dans la conduite d'irrigation. La concentration de la solution mère (Csm) est définie par le poids d'engrais dissout dans un volume d'eau (volume correspondant soit au dilueur soit au récipient de préparation si on utilise une pompe à injection).

La solution fille est l'eau d'irrigation fertilisée après injection de la solution mère. La concentration de l'eau d'irrigation est la salinité de l'eau d'irrigation fertilisée. C'est le poids d'engrais dissout et injecté par unité de volume d'eau d'irrigation. Pour la canne à sucre, la salinité (la concentration de la solution fille) doit toujours être inférieure ou égale à 5 g/l (0,5 % ou 5 ‰).

Tableau 48
Contraintes techniques de la fertigation.

Risques	Causes	Conséquences pratiques
Précipitation des engrais	Non respect de solubilités Incompatibilité des formes d'engrais entre elles Enrobage insoluble	Obstruction des filtres (tamis et disques) Obstruction des goutteurs
Mauvaise répartition de l'engrais au champ	Mauvaise dilution Passage trop rapide de l'engrais Mauvais réglage du fertiliseur	Hétérogénéité de la culture Limitation du rendement Localement, risque de toxicité et de salinité : mauvaise croissance des racines
Eutrophisation de l'eau dans le filtre à sable	Pas de purge après fertigation Stagnation de l'eau	Développement de microorganismes et de boues : obstruction des filtres et des goutteurs
Augmentation de la teneur en sel du sol	Non respect des concentrations Irrigation insuffisante Mauvaise fréquence d'apport	Toxicité à la périphérie du bulbe d'eau : mauvais développement des racines
Corrosion	Matériel inadapté Stagnation de la solution dans le réseau	Dégradation rapide du matériel Risques d'obstruction des goutteurs par des particules de métal rouillé

Réseau secondaire, goutte-à-goutte © E. Fillols

Calcul de la concentration de la solution dans l'eau d'irrigation

Trois conditions préalables doivent être respectées :
– dans un dilueur, la concentration de l'engrais doit être en général comprise entre 10 et 50 % du volume du dilueur (voir exemple plus loin et tableau 54) ;
– les solubilités des engrais indiquées dans le tableau 49 doivent être respectées ;
– lorsqu'on injecte un engrais ternaire, c'est la solubilité de l'élément le moins soluble qui doit être prise en compte.

Tableau 49
Solubilité des engrais à 20 °C en kilo de produit pour 100 l d'eau (source : Bucks et *al.*, *in* Langellier, 1994).

Fertilisants	Solubilité
Nitrate d'ammoniaque	118
Nitrate de sodium	73
Nitrate de potassium	13
Nitrate de calcium	102
Sulfate d'ammoniaque	71
Urée	78
Ammonitrate	192
Phosphate diammonique	43
Phosphate monoammonique	23
Superphosphate simple	2
Superphosphate triple	4
Chlorure de potassium	35
Sulfate de potassium	12
Bicarbonate de potassium	33
Phosphate monopotassique	23
N K (20-0-33)	34
N P K (16-8-24)	34
Sulfate de cuivre	22
Sulfate de fer	29
Sulfate de magnésium	71
Sulfate de manganèse	105
Borate de sodium	5
Molybdate de sodium	56
Sulfate de zinc	75

Calcul appliqué à un dilueur (ou fertiliseur) : exemple d'un champ de 1 hectare divisé en 7 secteurs

Le tableau 50 détaille les paramètres nécessaires pour calculer la solution fertilisante. Le tableau 51 détaille les données connues dans le cas de l'exemple traité.

Pour réussir cette fertigation, il faut calculer le débit dérivé dans le dilueur (Qf), afin d'aboutir au temps nécessaire pour réaliser la fertigation : les étapes de calcul sont décrites dans le tableau 52. Quatre règles doivent être respectées :
1- Le débit dérivé dans le dilueur (Qf) doit être compris entre 1 et 5 % du débit principal (Qp). On peut le vérifier avec un débitmètre installé à la sortie du dilueur.

2- Un dilueur rempli d'engrais à moitié de son volume est le plus souvent trop plein (encart et tableaux 53 et 54 : normes de remplissage à respecter).

3- Le débit dérivé est établi en créant une dépression au niveau du raccord d'injection. Le réglage est effectué soit automatiquement, soit à l'aide de 2 manomètres.

4- Suivre le mode opératoire exact des manomètres donné par l'installateur ou par un conseiller technique.

Tableau 50
Les paramètres de calcul de la solution fertilisante.

Paramètre	Explication
V	Volume du dilueur (l)
P	Poids de l'engrais à diluer (kg). Il doit tenir compte de la surface à fertiliser et de la solubilité de l'engrais
Se	Solubilité de l'engrais, en kg pour 100 l d'eau (donnée par le fabricant, ou voir tableau 49)
Csm	Concentration de la solution mère (%) Csm = [P / V] x 100
Qf	Débit dérivé dans le dilueur (l/h)
Qp	Débit dans la conduite principale (l/h)
Cei	Concentration de l'eau d'irrigation, appelée « solution fille » (%) Cei % = [Csm (%) x Qf] / Qp

Tableau 51
Données connues pour l'exemple d'un champ de 1 hectare divisé en 7 secteurs.

Apport d'engrais	800 kg NK 20-0-33 soluble pour un champ de 1 hectare
Solubilité de l'engrais	34 kg dans 100 l d'eau
Débit à la borne	2,7 m^3/h
Débit appelé par le réseau	18 m^3/h
Conception du réseau : débit de la conduite principale de secteur (Qp), équipement des rampes	7 secteurs de 1 428 m^2 chacun, avec chacun un débit de 2,5 m^3/h (Qp), soit 2 500 l/h Equipement : goutteurs de 2 l/h espacés de 0,75 m sur la rampe, rampes espacées de 1,5 m
Poids d'engrais par secteur (Ps)	Ps = 800 / 7 = 114 kg
Concentration de l'eau d'irrigation (Cei)	≤ 5 g/l (soit 5 ‰ ou 0,5 %)
Dilueur (V)	90 l

Tableau 52
Etapes de calcul avec un dilueur.

Etapes	Mode de calcul
Poids maximal d'engrais pouvant être introduit dans le dilueur (Pmax, kg)	Pmax = [Se / 100] x V = [34 / 100] x 90 = 30,6 kg (arrondissons à 30 kg)
Nombre d'apports par secteur (Na)	Na = Ps / Pmax = 114 / 30 = 4 apports
Concentration de la solution mère (Csm, %)	Csm = [Pmax / V] x 100 = [30 / 90] x 100 = 33,3 %
Concentration de l'eau d'irrigation (Cei, %)	Cei = 0,5 %
Débit dérivé dans le dilueur (Qf, l/h)	Qf = [Cei x Qp] / Csm = [0,5 x 2 500] / 33,3 = 37,5 l/h soit 1,5 % du débit principal Qp (Qp = 2,5 m^3/h) Ce débit peut être réglé par une différence de pression entre la sortie et l'entrée du dilueur
Temps de vidange du dilueur	V / Qf = 90 / 37,5 = 2,4 heures Temps auquel on doit ajouter le temps de rinçage à l'eau claire (15 minutes), soit : 2,4 + 15 / 60 = 2,65 h (2 h 39 min)
Temps total requis pour fertiliser le champ de 1 hectare (7 secteurs, en 4 apports chacun)	2,65 x 7 x 4 = 74,2 h (74 h 12 min) Exemple : cette fertigation peut être réalisée de deux façons : – en continu : 3 jours de fonctionnement – en fractionné : 1 apport par secteur et par semaine, pendant 4 semaines consécutives

Champs de cannes © Cédus

Calcul simple du poids d'engrais à introduire dans un dilueur

Voici une méthode simple de calcul de la quantité d'engrais pouvant être introduire dans le dilueur, tout en respectant la solubilité des types d'engrais et la concentration à assurer dans l'eau d'irrigation. Ce calcul aboutit à un coefficient de remplissage du dilueur qui dépend du type d'engrais et qui est exprimé en % du volume total du dilueur. Le tableau 53 donne les étapes de calcul et le tableau 54 donne des exemples pour quelques engrais courants. On aboutit à la formule suivante :

R % (taux de remplissage en engrais du dilueur) =
solubilité de l'engrais kg/l / (solubilité de l'engrais kg/l + densité engrais)

Tableau 53
Etapes du calcul du volume d'engrais à introduire dans le dilueur.

Paramètres	Calculs
V : volume du dilueur (l) Vmax : volume d'engrais à introduire (l) Pmax : poids d'engrais à introduire (kg) Veau : volume d'eau à introduire (l) S : solubilité de l'engrais (kg/l) d : densité de l'engrais R : taux de remplissage en engrais du dilueur (%)	S = Pmax / Veau V = Vmax + Veau Veau = (Vmax x d) / S R = Vmax / V d'où : V = Vmax + (Vmax x d) / S c'est-à-dire Vmax = V / (1 + d/S) et R = Vmax / V R = [V / (1 + d/S)] / V R = S / (S + d)

Tableau 54
Normes de remplissage en engrais d'un dilueur.

Formes d'engrais	Solubilité de l'engrais (kg pour 100 l d'eau)	Densité de l'engrais	Remplissage (% du volume total du dilueur)
Nitrate de chaux	102	85	55
Nitrate de soude	73	80	48
Sulfate d'ammoniaque	71	90	44
Urée	78	135	37
Ammonitrate	192	115	62
Phosphate diammonique	43	95	31
Phosphate monoammonique	23	95	20
Chlorure de potassium	35	80	30
Phosphate monopotassique	23	80	22
NK (20-0-33)	34	92	27
NPK (16-8-24 soluble)	34	96	26

Calcul appliqué à une pompe à injection : reprise de l'exemple du champ de 1 hectare divisé en 7 secteurs

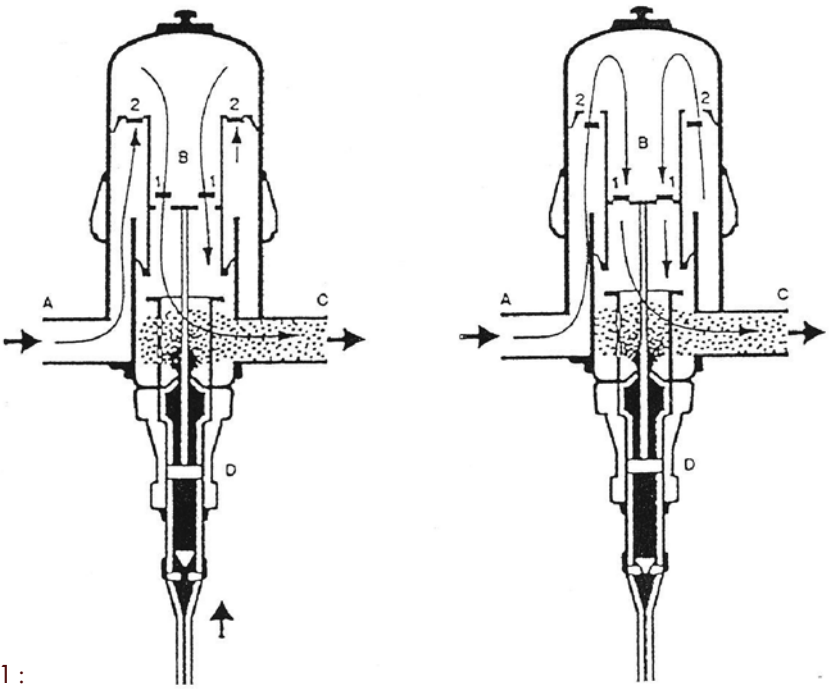
La figure 36 décrit le fonctionnement d'une pompe à injection Dosatron®.

La pompe à injection est plus facile à utiliser que le dilueur. Il suffit de préparer la solution mère dans un fût selon le même principe que pour le dilueur, en tenant compte des solubilités respectives des engrais apportés. Pour réaliser correctement la fertigation, il faut connaître au préalable le débit de la conduite principale (Qp) et le débit de la pompe (q, voir encadré et tableau 56).

Le tableau 55 détaille les paramètres nécessaires pour calculer la solution fertilisante. Le tableau 57 détaille les données connues dans le cas de l'exemple traité.

On va d'abord calculer la quantité d'engrais que l'on peut introduire dans le fût pour préparer la solution mère, puis le nombre d'apports par secteur et enfin la durée totale de la fertigation (tableau 58).

Figure 36
Schéma de fonctionnement de la pompe doseuse Dosatron ®.



PHASE 1 :
L'arrivée de l'eau (A) pousse le piston (B) ce qui entraîne la sortie du mélange en (C). En même temps, le piston plongeur (D) aspire le produit et l'injecte dans la chambre d'homogénéisation. En bout de course (haut) les clapets (2) s'ouvrent, les clapets (1) se ferment.
PHASE 2 :
Le piston (B) descend et une partie de la solution est injectée dans la chambre d'homogénéisation. En bout de course (bas), les clapets (1) s'ouvrent, les clapets (2) se ferment et le cycle recommence.

Tableau 55
Les paramètres de calcul de la solution fertilisante.

Paramètre	Explication
q	Débit de la pompe (l/h)
Tsm (%)	Taux de dilution de la pompe Tsm = [q x 100] / Qp
Cei (%)	Concentration de l'eau d'irrigation, donnée à 0,5 % (valeur maximale)
Csm	Concentration de la solution mère (%) Csm = [Cei x 100] / Tsm
Qp	Débit dans la conduite principale (l/h)

Réglage du débit de la pompe à injection

Le débit de la pompe (q) peut être réglé de deux façons :
– par une buse tarée (cas de notre exemple) ;
– sur certains injecteurs, en comptant le nombre de coups du piston en 30 secondes (tableau 56).

Tableau 56
Correspondance entre le nombre de coups et le débit de la pompe.

Nombre de coups en 30 secondes	Débit de la pompe (l/h)
20	80
15	60
10	40
5	20

Tableau 57
Données connues pour l'exemple d'un champ de 1 hectare divisé en 7 secteurs.

Apport d'engrais	800 kg NK 20-0-33 soluble pour un champ de 1 hectare
Solubilité de l'engrais	34 kg dans 100 l d'eau
Débit à la borne	2,7 m^3/h
Débit appelé par le réseau	18 m^3/h
Conception du réseau : débit de la conduite principale de secteur (Qp, l/h), équipement des rampes	7 secteurs de 1 428 m^2 chacun, avec chacun un débit de 2 500 l/h (ou 2,5 m^3/h) (Qp) Equipement : goutteurs de 2 l/h espacés de 0,75 m sur la rampe, rampes espacées de 1,5 m
Poids d'engrais par secteur (Ps)	Ps = 800 / 7 = 114 kg
Concentration de l'eau d'irrigation (Cei)	5 g/l (soit 5 ‰ ou 0,5 %)
Débit de la pompe doseuse	Buse tarée à 60 l/h
Fût de mélange pour la solution mère (V)	200 l

Tableau 58
Etapes de calcul avec la pompe à injection.

Etapes	Mode de calcul
Taux de dilution de la pompe doseuse (Tsm, %)	Tsm = [q x 100] / Qp = [60 x 100] / 2 500 = 2,4 %
Concentration de la solution mère (Csm, %)	Csm = [Cei x 100] / Tsm = [0,5 x 100] / 2,4 = 20,8 %
Poids maximal d'engrais pouvant être introduit dans le fût (V = 200 l), (Pmax, kg)	Pmax = [V x Csm] x 100 = [200 x 20,8] x 100 = 41,7 kg
Nombre d'apports par secteur (Na)	Na = Pes / Pmax = 114 / 41,7 = 3 apports
Durée d'un seul apport	V / q = 200 / 60 = 3,33 heures Temps auquel on doit ajouter le temps de rinçage à l'eau claire (15 minutes), soit : 3,33 + 15 / 60 = 3,58 h (3 h 35 min)
Temps total requis pour fertiliser le champ de 1 hectare (7 secteurs, en 3 apports chacun)	3,58 x 7 x 3 = 75,18 h (75 h 10 min) Exemple : cette fertigation peut être réalisée de deux façons : – en continu : 3 jours de fonctionnement – en fractionné : 1 apport par secteur et par semaine, pendant 3 semaines consécutives

Pompe Dosatron ® © E.Fillols

Station de fertigation équipée d'un système Gal ® © E. Fillols

Station de fertigation équipée d'un système Talgil ® © E. Fillols

Autre technique de calcul : utilisation d'abaques

Les deux abaques utilisés (abaque I et abaque II) sont visualisés dans les figures 37 (cas d'un diluteur) et 38 (cas d'une pompe à injection).

Explication de l'abaque I

L'abaque I permet de déduire le débit dérivé dans le diluteur (Qf, l/h) en fonction de la concentration de la solution mère préparée (Csm, %), connaissant le débit de la conduite principale (Qp, l/h), de manière à respecter la concentration maximale de l'eau d'irrigation (Cei, 0,5 %). L'abaque I a été construit à partir de la relation suivante :

$$Qf = Cei \times (Qp / Csm)$$

Les abscisses de l'abaque I sont les valeurs de la concentration de la solution mère.
Les ordonnées sont les valeurs de débit dérivé à obtenir dans le diluteur.
Les sept courbes (A, B, C, D, E, F, G) correspondent à sept valeurs de débit principal :

- A 1 m³/h,
- B 2 m³/h,
- C 4 m³/h,
- D 6 m³/h,
- E 8 m³/h,
- F 10 m³/h,
- G, 12 m³/h.

Explication de l'abaque II

L'abaque II permet de déduire le poids d'engrais à diluer (Pmax, kg) connaissant le volume total du diluteur (V, l), de manière à respecter une concentration donnée de la solution mère (Csm, %). Inversement, connaissant la solubilité de l'engrais et le volume du diluteur, le poids d'engrais à diluer est lu directement en ordonnée. L'abaque II a été construit à partir de la relation suivante :

$$Csm (\%) = (Pmax / V) \times 100$$

Les abscisses de l'abaque II sont les valeurs de la concentration de la solution mère.

Les ordonnées sont les valeurs de poids d'engrais à introduire dans le diluteur.

Les six courbes (1, 2, 3, 4, 5, 6) correspondent à six valeurs de volume du diluteur ou du récipient de dilution dans le cas de l'usage d'une pompe :

- 1 80 l,
- 2 120 l,
- 3 160 l,
- 4 200 l,
- 5 240 l,
- 6 280 l.

Application à la fertigation avec un diluteur et avec une pompe à injection

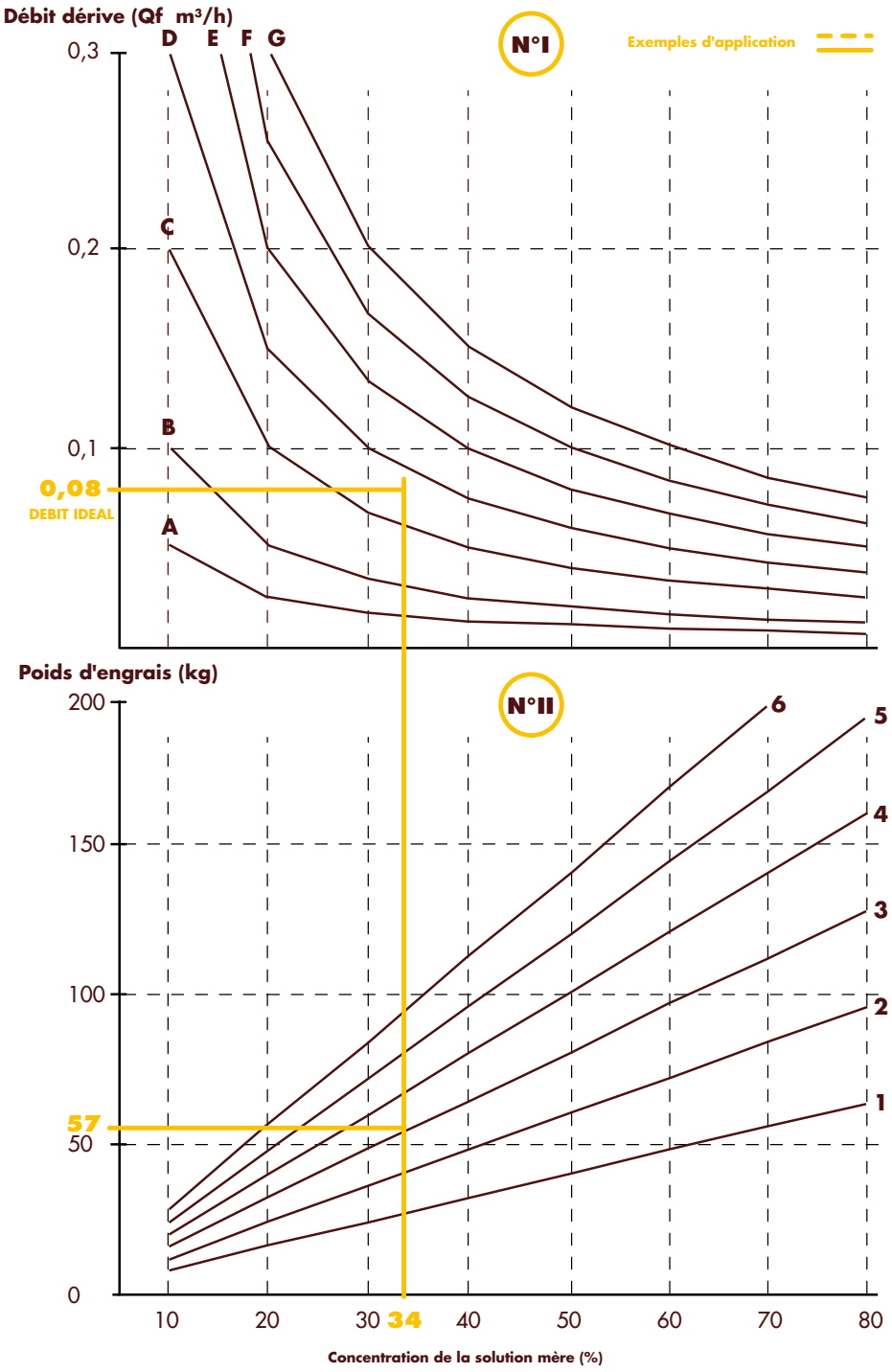
Le tableau 59 donne les références générales du champ de canne à sucre à irriguer.

Fertigation avec un diluteur

(utilisation des abaques : figure 37)

- Volume du diluteur : 160 l, c'est la droite 3 de l'abaque II sur la figure 37.
- Solubilité de l'engrais NK (tableau 49) : 34 kg pour 100 l d'eau. D'où la concentration maximale de la solution mère : 34 %, lue en abscisse de l'abaque II sur la figure 37.
- La quantité d'engrais à diluer pour un secteur est lue en ordonnée de l'abaque II : 57 kg.
- Le nombre d'apports à réaliser par secteur est donc 194 / 57 = 4 apports.
- Prolonger la verticale passant par 34 % de l'abaque II vers l'abaque I, jusqu'à l'intersection avec les courbes C (4 m³/h) et D (6 m³/h), qui encadrent le débit du secteur (4,4 m³/h). Sur le segment entre ces deux courbes, prendre le point correspondant au débit concerné et tirer la droite horizontale jusqu'aux ordonnées pour trouver le débit devant être dérivé dans le diluteur. Ici, il est de l'ordre de 0,08 m³/h, soit 80 l/h, ce qui représente environ 2 % du débit principal.

Figure 37
Utilisation des abaques N°I et N°II pour la fertigation avec un dilueur.



Fertigation avec une pompe à injection

(utilisation des abaques : figure 38)

- Volume du récipient de préparation de la solution mère : 180 l.
- Débit de la pompe à injection (q) : 40 l/h (0,04 m^3/h). Le débit de la pompe correspond au débit dérivé du diluer Qf, que l'on peut lire en ordonnée de l'abaque I sur la figure 38 (note : si le modèle le permet, vérifier d'abord le débit de la pompe en comptant le nombre de coups par seconde).
- Sur l'abaque I de la figure 38, on trace la droite horizontale à partir de Qf = q = 0,04 m^3/h jusqu'à ce qu'elle coupe les courbes C et D. Prendre alors sur le segment horizontal entre C et D le point correspondant au débit principal (ici 4,4 m^3) et l'abaisser à la verticale jusqu'à l'abscisse de l'abaque II, donnant la concentration de la solution mère.
- On lit en abscisse 63 %, qui est la concentration maximale permise dans ce cas, compte tenu du débit de la pompe. Au-dessus de cette concentration, les risques de précipités dans le réseau, ou de phytotoxicité par augmentation de la concentration de la solution du sol, sont possibles.
- Par ailleurs, la solubilité de l'engrais utilisé est de 34 %, inférieure à la concentration précédemment déterminée (63 %) : les conditions de réalisation de cette fertigation sont donc bonnes.

Tableau 59
Références du champ de canne à irriguer.

Caractéristiques du champ et du réseau	Valeurs
Surface du champ	1,7 ha
Quantité d'engrais à apporter, sous forme de binaire (NK 20-0-33)	800 kg/ha
Ecartement des goutteurs sur la rampe	0,75 m
Ecartement entre les rampes	1,5 m
Débit d'un goutteur	2 l/h
Débit disponible à la borne	4,6 m^3/h
Débit total appelé	31 m^3/h
Nombre de secteurs	7
Surface d'un secteur	2 430 m^2 (0,243 ha)
Débit d'un secteur (débit principal)	4,4 m^3/h
Poids d'engrais à apporter par secteur	194 kg

Calcul avec deux débits de pompe (40 et 75 l/h)

Si la concentration de la solution mère était plus faible, on pourrait utiliser un débit d'injection plus élevé permettant un passage plus rapide de l'engrais. Voyons s'il en résulte un gain en temps et en volume d'eau.

Calcul 1 : q = 40 l/h et Csm = 63 %

Cette valeur de concentration de la solution mère de 63 % permet de diluer dans les 180 l du récipient de préparation, 113,4 kg d'engrais. On peut irriguer 2 secteurs (2 x 57 kg) avec la même solution la solution mère en un apport.

Le temps de vidange du fût est : 180 / 40 = 4,5 heures.

Le volume d'eau nécessaire à apporter sur les deux secteurs est : 4,5 x 4,4 = 19,8 m^3.

Calcul 2 : q = 75 l/h pour Csm = 34 % (voir figure 38)

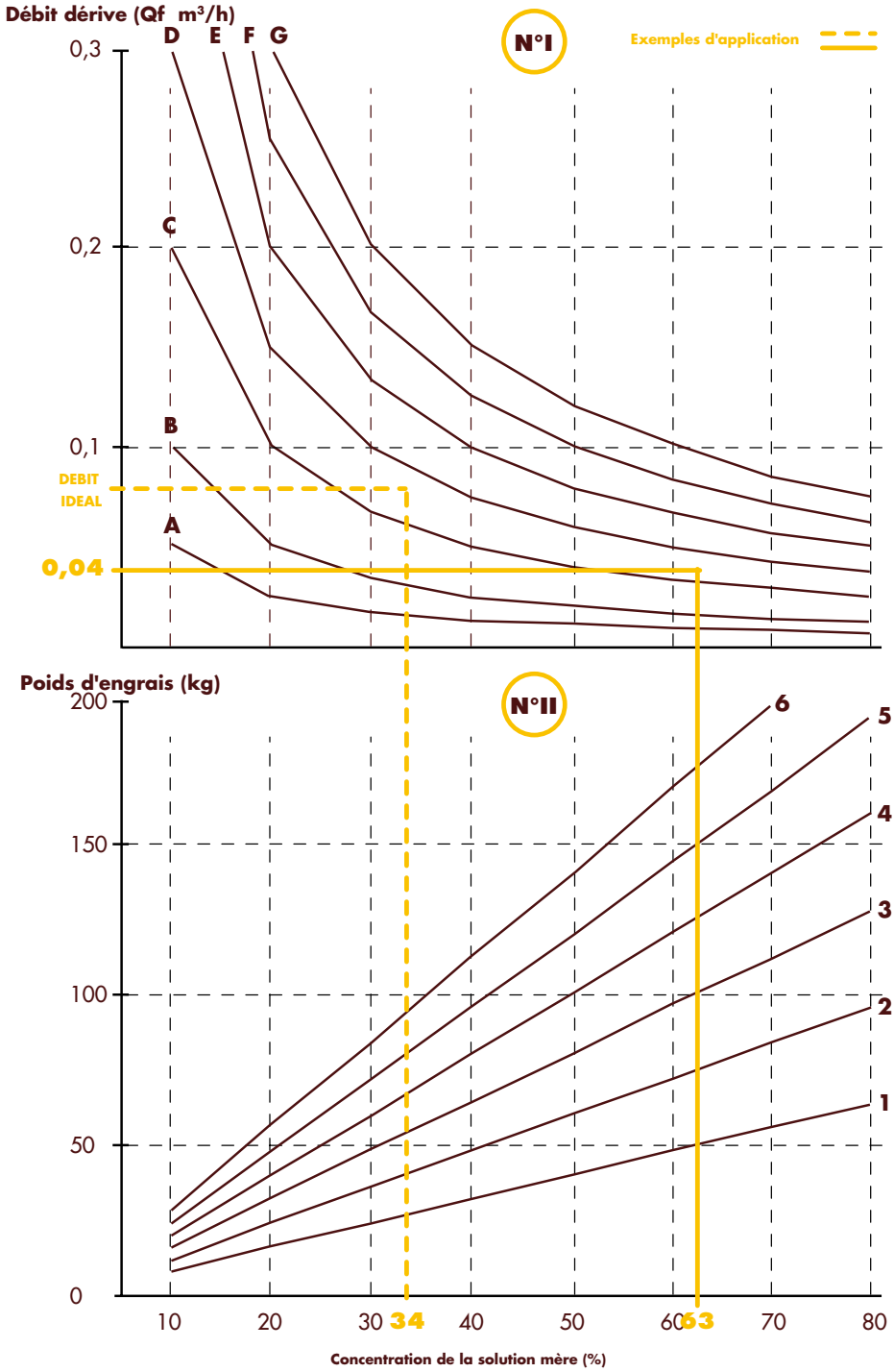
Dans le fût de 180 l, on peut donc dissoudre 61,2 kg d'engrais (34 % x 180), ce qui est peu différent de 57 kg pour un secteur.

Le temps de vidange du fût est : 180 / 475 = 2,4 heures.

Le volume d'eau nécessaire à apporter sur un secteur est : 2,4 x 4,4 = 10,56 m^3 (soit pour 2 secteurs : 21 m^3, ce qui est peu différent de 19,8 m^3).

En conclusion, les deux calculs sont comparables en temps et en volume d'eau, et la concentration de l'eau d'irrigation ne dépasse pas 0,5 % (valeur limite au-delà de laquelle des toxicités et des précipités sont possibles).

Figure 38
Utilisation des abaques I et II pour la fertigation avec une pompe à injection.



Facteurs chimiques d'obstruction des goutteurs

Causes chimiques

Les sels dissous dans l'eau d'irrigation sont les principaux responsables des obstructions des goutteurs. Ces sels proviennent soit des engrais introduits dans le réseau, soit d'une eau naturellement chargée, comme celle de certaines nappes.

Les carbonates, notamment les carbonates de calcium ou de magnésium, et les sulfates, notamment les sulfates de calcium, forment facilement des précipités.

Il y a un risque élevé d'obstruction dans les trois cas suivants :
- lorsque l'eau d'irrigation a un indice de saturation en $CaCO_3$ supérieur à 0,5 et une teneur en calcium supérieure à 200 mg/l ;
- si la température s'élève entre deux arrosages. Les solutés d'origine calcique se décomposent en $CaCO_3$ et en CO_2. Or le polyéthylène des goutteurs et des tuyaux est perméable au gaz carbonique. Le $CaCO_3$ devient plus concentré et il se dépose lorsque la température baisse ;
- des précipités ferreux se forment si la teneur en fer de l'eau d'irrigation dépasse 1,5 ppm ou sous l'action de certaines bactéries.

Les formes d'engrais suivantes sont délicates à manipuler et peuvent, si les précautions ne sont pas prises, provoquer des obstructions :
- ammoniaque liquide ;
- nitrate de calcium, nitrate de magnésium (ils peuvent former des précipités avec les sulfates ou les composés ammoniacaux) ;
- sulfate de potassium ;
- superphosphate ;
- nitrate de zinc ;
- sulfate ferrique ;
- tout oligo-élément sous forme non diluée, non chélatée, et sous forme de sulfate.

Des obstructions se produisent aussi lorsque la mise en solution de départ est mal faite, c'est-à-dire lorsqu'il reste dans le bac de préparation de la solution mère une quantité d'engrais non dissoute ou mal dissoute : c'est tout le système d'irrigation qui peut être endommagé (figure 39). C'est aussi le cas de certains enrobages insolubles d'engrais complexes.

Conseils pour éviter les colmatages chimiques

1- Attention à la corrosion. L'acier galvanisé doit être interdit dans toute installation de micro-irrigation.
2- La couche interne d'époxy doit être en bon état et il ne doit pas y avoir de traces de rouille à l'intérieur du diluteur. Sinon, les ions ferriques réagissent avec l'acide phosphorique pour former du phosphate ferrique insoluble ; dans ce cas, éviter absolument les engrais phosphatés.
3- Eviter de mélanger des formes d'engrais incompatibles (tableau 60).
4- Pour la fabrication d'une solution mère à partir d'un engrais ternaire ou d'un bulk, il faut prendre en compte la solubilité du constituant le moins soluble (tableau 49).
5- Au cours d'une fertigation, interdire l'injection simultanée d'un autre produit.
6- Préférer les formes nitriques aux formes ammoniacales (mais attention au risque de lessivage).
7- A La Réunion, beaucoup de sols ont besoin d'un complément phosphaté. Il peut être apporté sous forme de phosphate monoammonique, légèrement acidifiant. Les eaux d'irrigation peu chargées et plutôt neutres permettent quand même l'usage du phosphate diammonique.
8- Les précipitations calcaires sont nettoyées à l'acide fort par l'injection d'une solution d'acide nitrique du commerce (36° Baumé, densité 1,33) ou d'acide chlorhydrique (concentration de 2 à 5 ‰ en volume, soit 2 à 5 l/m^3 d'eau).

9- L'eau d'irrigation de l'exploitation agricole doit être analysée au démarrage de l'installation puis périodiquement, selon les conseils du technicien. Les analyses minimales sont le pH, la conductivité électrique, les cations et les anions.

10- Certaines eaux de la nappe profonde contiennent du fer dissout qui peut former un précipité qu'il est quasiment impossible de dissoudre. Par une analyse de l'eau, il vaut mieux s'assurer au préalable qu'elle ne contient pas plus de 1,5 ppm de fer ferreux.

Figure 39
Les conséquences d'une mauvaise préparation de la solution mère ou de l'emploi de matières insolubles.

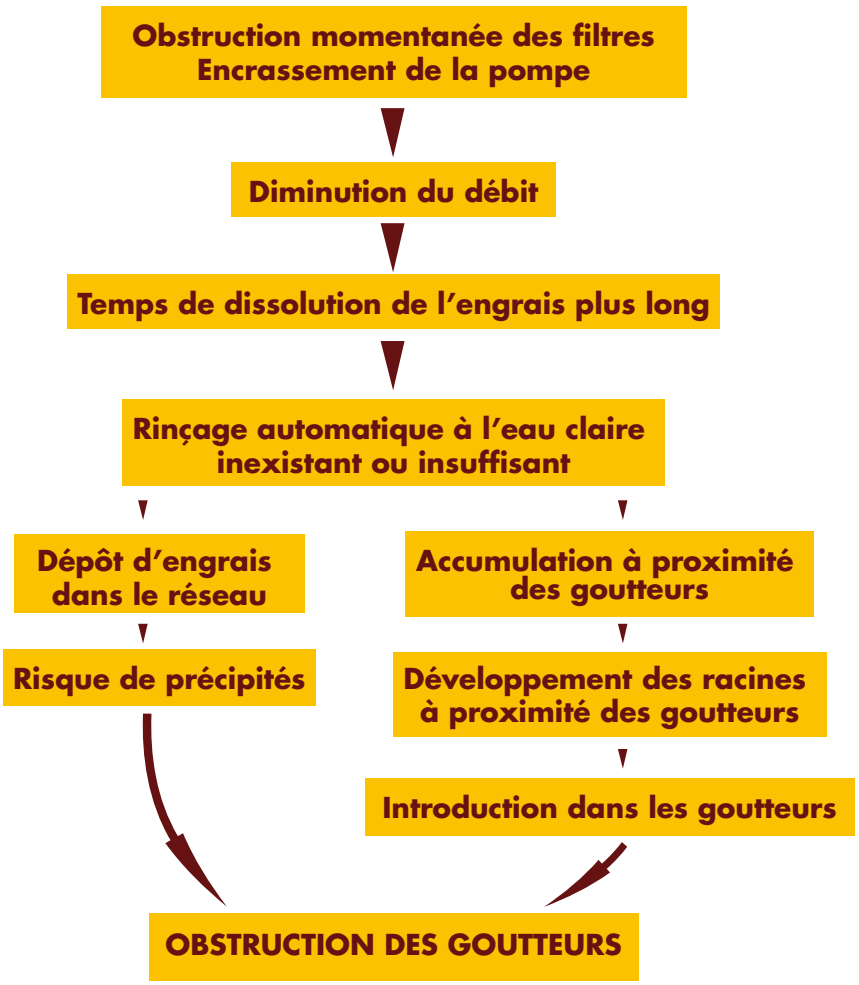

Obstruction momentanée des filtres
Encrassement de la pompe
Diminution du débit
Temps de dissolution de l'engrais plus long
Rinçage automatique à l'eau claire inexistant ou insuffisant
Dépôt d'engrais dans le réseau
Risque de précipités
Accumulation à proximité des goutteurs
Développement des racines à proximité des goutteurs
Introduction dans les goutteurs
OBSTRUCTION DES GOUTTEURS

Tableau 60
Compatibilité des engrais en solution mère. ■ : compatible ; ■ : incompatible ; ■ : compatibilité réduite

	Urée	Nitrate d'ammonium	Sulfate d'ammonium	Nitrate de calcium	Nitrate de potassium
Urée					
Nitrate d'ammonium					
Sulfate d'ammonium					
Nitrate de calcium					
Nitrate de potassium					
Chlorure de potassium					
Sulfate de potassium					
MAP (phosphate d'ammonium)					
MKP (phosphate monopotassique)					
Sulfate de magnésium					

Réseau d'irrigation goutte-à-goutte © E.Fillols

Tableau 60 suite

Compatibilité des engrais en solution mère. : compatible ; : incompatible ; : compatibilité réduite

	Chlorure de potassium	Sulfate de potassium	MAP (phosphate d'ammonium)	MKP (phosphate monopotassique)	Sulfate de magnésium
Urée					
Nitrate d'ammonium					
Sulfate d'ammonium					
Nitrate de calcium					
Nitrate de potassium					
Chlorure de potassium					
Sulfate de potassium					
MAP (phosphate d'ammonium)					
MKP (phosphate monopotassique)					
Sulfate de magnésium					

Essai de fertigation à Antenne 4 © P-F.Chabalier

Facteurs biologiques d'obstruction des goutteurs

Causes biologiques

Quatre formes de gel ont été identifiées :
- l'ocre. C'est un dépôt filamenteux de fer à l'état ferreux provoqué par l'action d'une bactérie. Une teneur de l'eau d'irrigation en fer ferreux soluble de plus de 1,5 ppm provoque le développement de cette bactérie. Son activité peut être accrue dans le cas de pH supérieur à 7 ;
- les gels manganiques. Les risques apparaissent à partir de la teneur de l'eau d'irrigation de 0,1 ppm de manganèse ;
- les gels de soufre. Ces gels se forment à partir de H_2S (anhydrite sulfureux), lorsque celui-ci est à une concentration supérieure à 0,5 ppm et que le pH est compris entre 6,7 et 7,2 ;
- les algues. Elles se développent dans les eaux de surface.

Conseils pour éviter les colmatages biologiques

Tamis et filtres

En général, les algues sont retenues par des tamis courants, et les gels bactériens par une bonne filtration à sable.

Pas de pièces en fer

Rappelons qu'en aval du point d'injection, toute pièce en fer ou en acier galvanisé est interdite.

Chloration (Eau de Javel)

La chloration est le moyen le plus utilisé comme désinfectant ou défloculant. Il agit par destruction des enzymes nécessaires à la vie des algues et des bactéries. La forme la plus utilisée est l'hypochlorite de sodium (Eau de Javel). D'autres formes existent mais ont des inconvénients : chlore gazeux et chlorite de sodium, dioxyde de chlore (trois formes dangereuses pour le manipulateur), hypochlorite de calcium (risque de précipitation du calcium).

Avant d'utiliser de l'Eau de Javel, il faut réajuster le pH de l'eau. En effet, c'est en milieu acide que l'action de l'Eau de Javel est la plus efficace, parce qu'elle agit alors sous la forme d'acide hypochloreux (ClOH), dont la proportion est liée au pH : 96 % à pH 6, 75 % à pH 7 et seulement 22 % à pH 8.

Le chlore est un bactéricide à faible concentration (1 à 5 ppm) et un oxydant à forte concentration (100 à 1 000 ppm, il désintègre alors la matière organique). L'effet oxydant de l'Eau de Javel est surtout efficace pour défloculer les dépôts constitués de matière organique et d'argile. Il est donc important de pourvoir doser facilement le chlore résiduel contenu dans l'eau d'irrigation. Des tests de détermination existent dans le commerce : le plus adapté aux conditions de la micro-irrigation est celui utilisant le N-N diéthyl-P-phénylénédiamine (ou DPD).

Attention à la conservation des solutions d'Eau de Javel

A La Réunion, on trouve dans le commerce les concentrations d'Eau de Javel à 3,4 %, 6,8 % et 13,6 %.
En utilisation industrielle, il faut prendre la plus forte concentration, 13,6 %. Mais attention : le chlore est très volatil. Il faut conserver cette solution d'Eau de Javel à 5 °C à l'abri de la lumière.
A une concentration inférieure ou égale à 3,4 %, l'Eau de Javel se conserve 6 mois e conditions normales sans dégradation (c'est le cas de notre exemple de calcul).

Les limites d'utilisation du chlore

Il semble, d'après des normes américaines, qu'il n'y ait aucun risque pour la plupart des cultures jusqu'à 50 mg/l de chlore dans l'eau d'irrigation. Au delà, des précautions doivent être prises, notamment pour les plantes sensibles. Notons que les tomates acceptent seulement 5 mg/l, leur croissance peut être retardée à 10 mg/l.

Retenons que l'efficacité de l'Eau de Javel peut être différente selon les conditions climatiques et les diverses qualités de l'eau d'irrigation. Il est donc nécessaire d'ajuster les paramètres de la chloration aux conditions du milieu.

Cas particulier des eaux de surface

Dans les eaux de surface, comme les réservoirs d'eau libre, les développements d'algues sont traités avec le sulfate de cuivre. Il faut maintenir une concentration entre 2 et 4 ppm de cuivre. Mais avant de traiter, il faut s'assurer de la teneur de l'eau en bicarbonate de calcium parce que le sulfate de cuivre précipite avec le carbonate en carbonate de cuivre, qui lui, est inefficace contre les algues.

Exemple de calcul de la quantité d'Eau de Javel

Objectif d'irrigation, injecter une solution de 2 ppm de chlore (notée Ccl) pendant 20 minutes.
Données connues :
Concentration de l'Eau de Javel du commerce : 13,6 % de chlore (Cj)
Débit principal (Qp) : 4 m^3/h
Débit de la pompe à injection (q) : 20 l/h
Volume du fût de préparation de la solution mère (V) : 160 l
Quelle est la quantité d'Eau de Javel à dissoudre (tableau 61) ?

Tableau 61
Etapes de calcul de la quantité d'Eau de Javel à apporter pour une solution à 2 ppm de chlore.

Etapes	Modes de calcul
Débit de chlore actif (Dcl) dans le réseau d'irrigation, pour maintenir une concentration constante de 2 ppm	Dcl = Qp x Ccl = 4 x 2 = 8 g/h
Dcl est lié à la concentration de la solution mère (Csm) et au débit de la pompe : calcul de la Csm	Csm = Dcl / q = 8 / 20 = 0,4 g/l
P, poids de l'Eau de Javel par litre de solution mère	P = Csm / Cj = 0,4 / 0,136 = 2,9 g/l
Poids total d'Eau de Javel à introduire dans le fût de mélange de la solution mère	Ptot = P x V = 2,9 x 160 = 470 g La densité de l'Eau de Javel étant proche de 1, il faut 0,5 l d'Eau de Javel à 13,6 % pour le fût de 160 l
Volume de solution à 2 ppm nécessaire pour un traitement de 20 minutes (Vt)	Vt = q x 20/60 = 20 x 20/60 = 6,7 l Avec 160 l de solution à 2 ppm de chlore, on peut donc effectuer : 160/6,7 = 24 traitements

Annexes : fiches mode d'emploi pour la fertigation avec une pompe à injection de type AMIAD®

Nous présentons ici deux types de fiches de terrain, très utiles pour suivre la fertigation de parcelles de canne à sucre : la fiche compte rendu agriculteur et la fiche technicien.

Fiche compte rendu agriculteur

Nom prénom	
Localité	
Année	
Culture	

Tableau récapitulant le nombre d'apport d'engrais par parcelle									
N° parcelle									
Surface (ha)									
Nombre d'apports									

Nombre de coups de piston	
Nombre de coups de piston maximal en 30 secondes (ce nombre dépend de votre installation et ne doit jamais être dépassé)	
Réglage définitif du nombre de coups de piston en 30 secondes	

Temps de fertigation (h)
C'est le temps nécessaire pour faire passer tout le volume du bac de fertilisation. Il comprend en plus un temps de mise en pression du réseau (0,25 heure), et un temps de rinçage en fin de fertigation (0,25 heure).

Rappels	
Volume du bac de fertilisation (l)	
Nombre de coups de piston en 30 secondes retenu pour les réglages	

Volume d'eau minimal par parcelle pour faire passer le volume du bac (m^3)									
N° parcelle									
Volume d'eau (m^3)									

Planning de fertigation

La fréquence d'apports est fonction du nombre d'apports à effectuer et de la durée pendant la quelle il est souhaitable de les réaliser, sachant que :

– il est important de redémarrer rapidement l'irrigation et la fertilisation après la coupe de chaque parcelle (15 jours maximum) ;
– tous les apports doivent être réalisés dans les 5 ou 6 premiers mois du cycle de la canne (repousses) et de toute façon avant la saison cyclonique.

Votre technicien conseil est à votre disposition pour mettre en place un planning d'irrigation adapté à vos besoins.

Quelques conseils

Préparez votre solution mère en remuant énergiquement.

Vérifiez vos filtres avant et après chaque fertigation.

Attendez que votre réseau soit sous pression pour lancer votre fertigation (1/4 d'heure) et respectez un temps de rinçage en fin de fertigation (1/4 d'heure).

Respectez les solubilités maximales des engrais utilisés et leur compatibilité.

Si vous constatez que les réglages préconisés sont inadaptés

Par exemple un volume d'eau à apporter par parcelle insuffisant ou trop élevé pour « faire passer le volume du bac »…

Comment trouver le volume d'eau réellement nécessaire pour « faire passer le volume du bac » :

– si le volume préconisé est insuffisant, relancer l'irrigation et noter le nombre de mètres cubes apportés en plus pour passer le reste du bac et rincer le réseau (1/4 h) ;
– si le volume préconisé est trop élevé, noter le volume réellement passé juste à la fin de la fertigation suivante.

Et notez ici le volume d'eau réellement nécessaire pour « faire passer le volume du bac » :

…… m^3

Note : une différence entre les volumes conseillés et les volumes réellement nécessaires pour la fertigation d'une parcelle est le plus souvent due à une surface réelle différente de la surface théorique.

De toute façon, votre technicien conseil habituel se tient à votre entière disposition pour tout complément de réglage.

Pompe Amyad ® © E.Fillols

Fiche technicien

Nom prénom agriculteur	
Localité	
Année	
Culture	

Etape 1 : nombre d'apport d'engrais par parcelle, noté NbreE

Un parcelle, ou secteur, est définie comme étant un bloc de goutte à goutte piloté par une seule vanne.

en-

$$NbreE = \frac{\text{grais (kg/ha) x surface (ha)}}{\text{quantité d'engrais par bac (kg)}}$$

Cette quantité d'engrais à introduire dans le bac de fertilisation doit être compatible avec les seuils de solubilité des solutions mères.

Exemple de solubilité maximale (masse d'engrais à introduire pour 100 l d'eau)			
Sulfate d'ammoniaque	71 kg	Chlorure de potasse	35 kg
Phosphate diammonique	43	20-3-33, 20-0-33	35
Urée	78	16-8-24 soluble	34

Tableau récapitulant le nombre d'apport d'engrais par parcelle									
N° parcelle									
Surface (ha)									
Nombre d'apports									

Etape 2 : débit appelé par parcelle (m^3/h), noté dapp

Ce calcul est effectué pour chaque parcelle et il intègre les caractéristiques du réseau.

$$Dapp\ (m^3/h) = \frac{\text{débit des goutteurs (l/h) x 10 x surface parcelle (ha)}}{\text{Espacement des goutteurs sur la ligne (m) x espacement entre les lignes (m)}}$$

N° parcelle									
Surface (ha)									
Débit goutteur (l/h)									
Espacement sur la ligne (m)									
Espacement entre les lignes (m)									
Débit appelé (m^3/h)									

Etape 3 : débit injectable maximal autorisé (l/h), noté dM

Ce calcul tient compte de la concentration maximale ne engrais de l'eau d'irrigation, soit 0,5 % (5 g/l). Le débit injectable maximal est fonction des débits appelés. Par sécurité, et afin de ne pas avoir à modifier le réglage à chaque changement de parcelle, on base le calcul sur le débit appelé le plus faible.

$$dM = \frac{\text{débit appelé le plus faible (m}^3\text{/h)} \times 5 \times \text{volume du fût (l)}}{\text{quantité d'engrais par fût (kg)}}$$

dM = l/h

Etape 4 : calcul du nombre de coups de piston maximal en 30 secondes, noté nM

nM = dM / 4

Note : pour des raisons pratiques, le nombre de coups de piston ne peut être inférieur au nombre de coups maximal ainsi calculé.

Etape 5 : calcul du temps de fertilisation (h), noté tF

Ce temps comprend aussi la mise en pression du réseau (1/4 d'heure avant de débuter la fertigation) et le rinçage du réseau (1/4 d'heure).

$$tF = \frac{0{,}25\text{ h} + \text{volume du fût (l)} + 0{,}25\text{ h}}{4 \times \text{nombre de coups de piston en 30 s}}$$

tF = h

Note : pour avoir le temps de fertigation en heures et en minutes, et pas en temps décimal, garder le nombre d'heures tel quel, et multiplier les 2 décimales par 0,6 afin d'obtenir le nombre de minutes.

Etape 6 : hauteur d'eau correspondante au champ (mm), notée He

$$He\ (mm) = \frac{tF\ (\text{temps décimal}) \times \text{débit appelé (dapp, m}^3\text{/h)}}{\text{surface parcelle (ha)} \times 10}$$

He = mm

Etape 7 : volume d'eau minimal par parcelle pour irriguer (m³), noté Vem

Vem = tF (temps décimal) x débit appelé (dapp, m³/h)

N° parcelle									
Débit appelé (m³/h)									
Volume d'eau (m³)									

A

Absorption : phénomène d'ordre biochimique et (ou) physique réalisant la pénétration de certains éléments dans les cellules végétales, pour la nutrition des plantes.

Adsorption : phénomène physique de surface réalisant la fixation de certains ions sur des surfaces du sol (exemple : bases échangeables sur le complexe argilo-humique).

Acide (pour un sol) : sol dans lequel la quantité d'ions H^+ est supérieur à la quantité d'ions alcalins. Le pH est inférieur à 7.

Acidité : propriété d'un sol ou d'un matériau. Se mesure par son pH (ou quantité d'ions H^+).

Agrégat : unité fondamentale du sol, formé de matière minérale et d'humus (agrégat élémentaire).

Agriculture raisonnée : forme d'agriculture qui limite les intrants (fertilisation, pesticide).

Alcalin (alcalinisant) : sol ou matériau dont le pH est supérieur à pH 7.

Allophane : alumino-silicate hydraté amorphe, forme plus ou moins transitoire vers des formes cristallisées argileuses, type halloysite (kaolinite hydraté), fréquente dans les sols jeunes volcaniques comme à La Réunion.

Amendement : désigne une substance incorporée au sol en vue d'en améliorer ses propriétés physiques.

Amendement organique : matière fertilisante principalement composée de matières organiques d'origine végétale et (ou) animale, destinée à l'entretien ou à la reconstitution du stock de matière organique du sol et à l'amélioration de ses propriétés physiques et (ou) chimiques et (ou) biologiques.

Anion : atome ou radical d'une charge électrique négative (Cl^-, SO_4^{--}, PO_4^{3-}...).

Argile : minéral formé de silice et d'alumine cristallisé en feuillets. Il existe 3 grandes familles d'argile selon l'épaisseur des feuillets (7, 10 et 14 Å) : kaolinite des sols tropicaux, illite et montmorillonite (smectite) des vertisols.

B

Bagasse : sous-produits de l'industrie de la canne à sucre. Ce sont des résidus fibreux solides générés après passage de la canne dans les moulins (broyage pour extraire le jus).

Biomasse : masse de matière vivante contenue dans une unité déterminée de surface ou de volume de l'environnement.

Bouture : morceau d'une plante destiné a être replanté pour produire une nouvelle plante identique.

Brix : le brix représente le pourcentage apparent de matières sèches, comportant essentielle-

ment du saccharose, dans le jus de canne. La mesure du brix du jus de canne est effectuée avec un réfractomètre.

C

Carence : un ou plusieurs éléments minéraux sont en quantité insuffisante ou sont non assimilables pour permettre la croissance normale du végétal.

Cation : atome ou radical d'une charge électrique positive (Ca^{++}, Mg^{++}, Na^{+}, K^{+}...).

Cellulose : molécule carbonée hydratée formée par les plantes à partir du carbone de l'atmosphère (gaz carbonique) avec l'énergie de la photosynthèse.

Chaulage : pratique culturale consistant à apporter au sol un amendement calcaire pour relever son pH et améliorer sa structure.

Chlorose : jaunissement et décoloration des parties vertes d'une plante suite à une carence ou maladie.

Colloïde : substances de très petite dimension formant des gels : argiles, humus, silice.

Complexe (argilo-humique) : association en grumeaux d'argile et de matière organique (liaison électrique) qui ont un rôle complexe dans le sol : structuration, adsoption des cations...

Concentration : paramètre permettant d'estimer le degré de minéralisation d'une solution électrolytique en rapportant la masse de matière dissoute à une unité de volume. Il s'exprime en $mol.l^{-1}$, ou en $g.l^{-1}$ dans le Système International (SI).

Compost : matière organique fermentée utilisable en agriculture. Le compost peut provenir de la décomposition des de la partie fermentescible des ordures ménagères, des boues de station d'épuration ou des déchets agricoles.

D

Décomposition : processus de dégradation et de minéralisation de la matière organique morte ainsi que sa transformation en molécules plus simples jusqu'à la minéralisation complète en formes minérales.

Dégradation : mécanismes à l'origine de la dégradabilité. Beaucoup de produits organiques sont biodégradables.

Dénitrification : conversion des nitrates en nitrites puis en N_2O puis en azote N_2. Processus réalisé par des bactéries anaérobies.

Densité apparente (Vb) : rapport entre la masse d'un volume de sol séché à 105 °C et la masse d'un même volume d'eau pris dans les conditions standard. Le volume d'eau correspond au volume total de sol considéré, c'est-à-dire à la somme des volumes occupés par les phases liquide, solide et gazeuse.

E

Echantillon : quantité de terre ou d'un produit provenant du mélange de plusieurs sondages réalisés dans une même parcelle ou un même tas.

Écumes : appellation des sous-produits de l'industrie de la canne. Les écumes de sucrerie ou boues de défécation, sont issues de la clarification du jus (chauffage puis centrifugation ou filtration), formant des tourteaux de filtration, qui sont plus ou moins séchés.

Élément fertilisant : élément nutritif apporté par la fertilisation.

Éléments majeurs : au nombre de douze dans un sol (O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, Ti, H, P et Mn), ils constituent ensemble plus de 99 % de la masse de la croûte terrestre. Dans une plante il s'agit de N, P, K, Ca, Mg, et dans une moindre mesure, S.

Eléments traces (ET) : les éléments traces sont ceux dont la teneur dans la croûte terrestre est inférieure à 0,1 %. Ceux-ci peuvent être des métaux (par exemple Cd, Cu, Cr, Ni, Pb), des métalloïdes ou semi-métaux (par exemple B, Se, As) ou des non métaux (comme N, F, Cl ou Br).

Engrais minéral : engrais chimique de synthèse fabriqué à partir de matières minérales ou de pétrole.

Engrais organique : engrais naturel comprenant du carbone et provenant du monde vivant, animal ou végétal.

F

Fertilité : c'est l'aptitude d'une terre, d'un champ ou d'une région à produire des récoltes. Elle dépend du climat, du sol et des techniques appliquées. L'investissement dans des améliorations foncières, par exemple l'irrigation, permet d'améliorer la fertilité.

Fibre : dans la canne livrée, c'est la concentration de matière sèche (en %) insoluble dans l'eau. La fibre est constituée en majorité de cellulose (voir bagasse).

Fixation de N_2 : il s'agit de la fixation biologique de N_2. On distingue trois groupes de systèmes fixateurs de N_2 :
- les symbioses obligatoires : symbiose entre les légumineuses et les *Rhizobium*, et symbiose entre les non légumineuses et les actinomycètes ;
- les symbioses associatives, par exemple association entre graminées et bactéries fixatrices de N_2 dans la rhizosphère ;
- les organismes libres, par exemple *Azotobacter*.

Fumure d'entretien : apport d'engrais phosphaté ou potassique destiné à compenser les pertes en P et K d'une parcelle, liées notamment aux exportations par les récoltes.

Fumier : mélange de matières organiques végétales (paille) et animales (fèces et urines) récupérées dans les bâtiments d'élevage et plus ou moins humide et composté.

H

Humus : mélange complexe de composés organiques provenant de la dégradation biologique de la matière organique morte du sol.

I

Immobilisation : ensemble de phénomènes physiques, chimiques ou biologiques provoquant une perte de mobilité d'un composé chimique avec son association à une phase solide.

L

Lessivage : phénomène d'entraînement par l'eau, à travers les sols, de particules fines ou colloïdales (argile et matières organiques).

Lisier : liquide récupéré dans les bâtiments d'élevage et stockés en fosses mélange de fèces et d'urine des animaux plus ou moins dilué avec les eaux de lavage.

Lixiviation : phénomène naturel d'entraînement par l'eau, à travers du sol superficiel des éléments solubles du sol (essentiellement les bases et des anions qui provoque la désaturation du complexe adsorbant). Le liquide résultant est le lixiviat. Ce dernier peut se charger en substances toxiques lors de la traversée des sols (nitrates et pesticides).

M

Matière organique : matière carbonée d'origine végétale ou animale qui peut évoluer sous l'action des microorganismes du sol et donner de l'humus.

Maturation : processus qui décrit l'augmentation du saccharose dans la tige de canne, de l'apparition de la tige à la coupe. Ce terme est aussi employé, dans la pratique, pour désigner une phase d'accroissement particulier de la concentration en sucre, sous l'effet de conditions climatiques ou d'un traitement agronomique.

Métabolisme : ensemble des réactions couplées se produisant dans les cellules d'un organisme. Il permet soit d'extraire l'énergie des nutriments, soit de synthétiser les constituants nécessaires à la structure et au bon fonctionnement des cellules.

Minéralisation : processus biologique de transformation des formes organiques en formes inorganiques. Par exemple l'azote organique est transformé en azote minéral et ammoniacal. En conditions normales, l'azote ammoniacal est rapidement oxydé en azote nitrique. La minéralisation est quasi exclusivement due aux organismes décomposeurs, en majorité des bactéries et champignons.

Mulch (ou paillis) : paillage constitué des résidus de récolte (feuilles, gaines, tiges, fouet, fleurs).

O

Objectif de rendement : rendement déterminé par anticipation en fonction de l'aptitude du sol d'une parcelle et d'une hypothèse climatique ou d'exigences environnementales, utilisé pour déterminer des quantités d'engrais nécessaires.

Organisation de l'azote : processus biologique d'assimilation de l'azote minéral par les microorganismes du sol, qui conduit à la formation d'azote organique dans la biomasse microbienne.

P

Paille : du point de vue des industriels sucriers, les pailles représentent la matière « non canne », c'est-à-dire tout ce qui ne produit pas le sucre extrait dans l'usine : feuilles, sommités, tiges mortes, livrées à l'usine avec les tiges usinables. Du point de vue du planteur, les pailles représentent aussi les résidus de récolte laissés au champ, formant un mulch.

pH : potentiel Hydrogène. Indication chiffrée reliée à la concentration en H_3O^+ d'une solution aqueuse. Mesure l'acidité d'une solution.

Photosynthèse : processus biochimique complexe permettant la fabrication par les plantes d'hydrates de carbone (sucre, cellulose, lignine…) à partir de l'oxygène du dioxyde de carbone (CO_2) et d'eau en présence de chlorophylle, la lumière solaire servant de source d'énergie.

Pore, porosité : petit espace vide qui sépare les constituants solides du sol et qui permet la circulation de l'eau et de l'air dans le sol.

Pouvoir fixateur : capacité d'un sol à rendre peu solubles les formes de P ou K présentes dans la solution du sol. Ces éléments se combinent à des particules du sol (argiles vraies ou oxydes métalliques de fer ou d'aluminium) sous des formes très stables.

Prélèvement : quantité d'élément fertilisant puisée dans le sol par une culture.

Profil cultural : ensemble constitué par la succession des couches de sol individualisées par l'intervention des instruments de culture, les racines des végétaux et les facteurs naturels réagissant à ces actions.

Pouvoir fixateur : capacité d'un sol à rendre peu solubles les formes de phosphore et de potassium présentes dans la solution du sol.

Propriété d'un sol : estimation de la capacité d'un sol à remplir une fonction.

Pseudo-sables : petits agrégats arrondis, stables à l'eau, caractéristiques des matériaux allophaniques. Par une mesure de la granulométrie, ils sont comptés dans la fraction sable. Une fois les liaisons détruites, ce sont des argiles.

Pureté : teneur en saccharose parmi les matières solubles totales d'un échantillon. Elle est estimée en pourcent. La pureté du jus est estimée par le pourcentage de pol (sucre cristallisable dans le jus) dans le brix.

R

Rendement en sucre (par hectare) : il est obtenu par la multiplication du rendement en canne (exprimé en t/ha) par la teneur en sucre moyenne de la canne (richesse en sucre, en % du poids frais de la canne récoltée). Le rendement en sucre est donc exprimé en t/ha de sucre.

Repousses : ce sont les pousses des cycles de récolte qui viennent après la culture de l'année de la plantation (ou replantation), cette première culture étant appelée vierge.

Richesse : c'est le pourcentage de saccharose dans la canne fraîche livrée à l'usine. Le paiement de la canne se fait en fonction de la richesse de la canne livrée. Cette richesse est obtenue par une formule complexe basée sur l'estimation du sucre que l'on pourra extraire de la canne en fonction de sa teneur en sucre, mais aussi de celle de la fibre et des impuretés contenues dans le jus, ainsi que de l'efficience des usines à extraire le sucre.

Rétrogradation : action d'aller en arrière. Dans le sol, passage d'un élément soluble à une forme insoluble, non disponible pour les plantes.

Ruissellement : circulation de l'eau à la surface du sol lorsque le volume d'eau en excès stocké à la surface du sol excède la détention superficielle.

S

Solution du sol : eau présente dans la porosité du sol. Elle contient des éléments dissous, complexes ou colloïdaux en proportions variables selon la nature des constituants minéraux et organiques, et selon les propriétés de transfert.

Stabilité structurale : aptitude des sols à résister à la désagrégation. C'est un indicateur de la cohésion des agrégats et de leur résistance à la désagrégation sous l'effet de la pluie qui se mesure par un tamisage dans l'eau.

Structure : ensemble des caractères liés à la disposition spatiale des particules élémentaires du sol (agrégats), à leur organisation, leur voisinage, l'intensité des liaisons qui existent entre eux ainsi qu'à leur nature.

Système de culture : composante d'un système de production qui se raisonne au niveau d'une surface de l'exploitation : un champ ou un terroir, en fonction de ses aptitudes agricoles. Il implique un raisonnement, sur plusieurs années, de l'assolement : succession des cultures (annuelles ou pluriannuelles) sur une parcelle. C'est un ensemble cohérent et organisé de produits et moyens de production.

Système de production : combinaison de production et facteurs de production que l'agriculteur raisonne au niveau de son exploitation en fonction de ses objectifs et moyens. Il se caractérise (et se trouve en même temps largement imposé) par un assolement, un appareil de production, un système de culture, une disponibilité en main-d'œuvre, qui constituent, en fait, la structure de l'exploitation.

T

Tige usinable : c'est la portion inférieure de la tige, débarrassée à la coupe de la partie sommitale (ou bout blanc). Elle est constituée d'entre-nœuds ayant achevé leur croissance et contenant

du saccharose. Cela correspond à la tige propre, qui doit être envoyée à l'usine.

Toxicité : trop grande abondance (excès) de certains éléments provoquant des désordres physiologiques ou des accidents graves (dépérissement et mort de la plante : nécroses, décolorations, nanismes, rachitisme, etc.).

V

Verse : la verse correspond à des tiges de canne qui se couchent, se cassent ou s'arrachent. La verse peut être provoquée par le vent ou la pluie. Elle peut également avoir lieu naturellement au delà d'un certain tonnage sur des cannes très développées. Elle dépend également du type de sol (sol peu stable) et de la variété.

Vierge : première culture après la (re)plantation. Les tiges du premier cycle de récolte sont donc issues directement de bouture plantée.

Vinasse : résidu de la distillation, sous-produit du rhum qui est obtenu par distillation après fermentation de mélasses diluées ou de jus.

Bibliographie

Anderson D.L., Bowen J.E., 1990. Sugarcane nutrition. Norcross : Potash and Phosphate Institute, University of Florida-EREC, Belle Glade, Etats-Unis, 39 p.

Association pour l'étude des sols. Site Internet de l'AES. [On-line] [11/10/2006]. < URL http://www.inra.fr/afes >.

Beaufils E., 1975. Diagnosis of the NPK requirements of sugarcane irrespective of plant age and season using Beaufils system (DRIS) - Preliminary observations. In Proceedings of the South African Sugar Technologists Association, 5 p.

Buttin J.-P., Chabalier P.-F. 1989. Le potassium et la canne à sucre à l'île de La Réunion. CIRAD, La Bretagne, Saint-Denis, La Réunion ; CIRAD, Montpellier, France, 20 p.

Canne Progrès. Site Internet des professionnels de la canne et du sucre. [On-line] [11/10/2006]. < URL http://www.canne-progres.com/ > rubriques Informations et conseils techniques, Les cahiers techniques, Informations administratives, Publications, Actualités, Liens utiles.

Caro-canne magazine, 2003. La fertilisation. Cahier technique n° 2, septembre 2003, ARTAS, La Réunion, 8 p. [On-line] [11/10/2006] < URL http://www.canne-progres.com/ > rubrique Les cahiers techniques.

Chabalier P.-F, van de Kerchove V., Saint Macary H., 2006. Guide la fertilisation organique à La Réunion. CIRAD, Chambre d'agriculture, Saint-Denis, La Réunion, 304 p. Chambre d'agriculture, Saint-Denis, La Réunion, France.

Chabalier P., 1998. Canne à sucre comment mieux gérer la fertilisation minérale et les apports d'effluents. In Magazine CIRAD Réunion (ISSN 1263-2937), décembre 1998, n° 13.

Chabalier P., 1997. Comparaison de différents diagnostics nutritionnels de la canne à sucre réalisés sur un essai NPK de longue durée à La Réunion. *In* Communications présentées au 4e Congrès international de l'ARTAS, 2e Rencontre internationale en langue française, Saint-Denis, La Réunion, 12 au 18 octobre 1997, p.414-433. Paris, AFCAS.

Chopart J.-L., 2004. RACINE logiciel de traitement de données racinaires à partir de comptages sur profils de sol. Notice d'utilisation. CIRAD, Saint-Pierre, La Réunion, France, 16 p.

Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD). [On-line] [11/10/2006]. < URL http://www.cirad.fr/ >.

Centre CIRAD à La Réunion. [On-line] [11/10/2006]. < URL http://www.cirad.fr/reunion >.

CIRAD, GRET, Ministère français des Affaires étrangères, 2002. Mémento de l'agronome. Ouvrage 1 691 p. ; deux CD-ROM. CIRAD, Montpellier, France.

Comité français d'étude et de développement de la fertilisation raisonnée (COMIFER). [On-line] [11/10/2006]. < URL http://www.comifer.asso.fr/ >.

COMIFER, 1996. Calcul de la fertilisation azotée des cultures annuelles. Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales. Brochure, COMIFER, Paris, France, 59 p.

Courteau A., 2005. La canne à sucre et l'environnement à La Réunion, revue bibliographique. Université de Franche-Comté, Besançon, CIRAD, La Réunion. CIRAD, Saint-Denis, La Réunion, France, 53 p. [On-line] [16 juin 2006]. < URL http://www.cirad.fr/reunion/recherche/canne_a_sucre > rubrique En savoir plus.

CTICS Guadeloupe, 2006. Manuel technique de la canne à sucre. CTICS Guadeloupe, Abymes, Guadeloupe, France, 94 p.

Dart I.K., Baillie C.P., Thorburn P.J., 2000. Assessing nitrogen application rates for subsurface trickle irrigated cane at Bundaberg. Bundaberg Sugar Ltd and CRS, BSES, CSIRO, Australia. *In* Proceedings of the Australian Society of Sugarcane Technologists, 22 : 230-235.

Denoroy P., Dubrulle P., Villette C., Colomb B. (coordinateurs), 2006. RegiferTM. Interpréter les résultats d'analyse de terre. Collection Techniques et pratiques, INRA éditions, Versailles, France, 132 p. ISBN 2-7380-1168-3.

Fauconnier R., Bassereau D., 1970. La canne à sucre. Collection Techniques agricoles et productions tropicales. Editions Maisonneuve et Larose, Paris, France.

Forum de l'agriculture raisonnée respectueuse de l'environnement (FARRE). [On-line] [11/10/2006]. < URL http://www.farre.org/ >.

Fritz J., 1972. Fiche d'essai n° 51 exportation d'éléments fertilisants par la canne à sucre. , *In* CD-rom Fiches d'essais de l'IRAT Réunion (1971-1987), [9] p. CIRAD, Saint-Denis, La Réunion.

Garside A.L., Berthelsen J.E., 2004. Management of legume biomass to maximise benefits to the following sugarcane crop. BSES, CSIRO, Townsville, Australia. *In* Proceedings of the Australian Society of Sugarcane Technologists, 26 : 30.

Girard M.C., Walter C., Rémy J.C., Berthelin J., Morel J.L., 2005. Sols et environnement. Cours et Etudes de cas. Dunod, coll. Sciences Sup., 832 p.

Hurney A.P., Berding Nils, 2000. Impact of suckering and lodging on productivity of cultivars in the wet tropics. Bundaberg Sugar Ltd and CRS, BSES, CSIRO, Australia. *In* Proceedings of the Australian Society of Sugarcane Technologists, 22 : 328-333.

International Society of Sugarcane Technologists, 2006. ISSCT Agronomy Worshop, 23 - 26 May 2006, Khon Kaen, Thaïlande. Integrated agronomic pratices to improve/sustain cane productivity. [On-line] [20/10/2006] < URL http://issct.intnet.mu/agrowrk06.htm >.

Jourdan C., Chopart J.-L., 1998. Methods for studying root systems in the field at CIRAD. *In* Soil Science World Congress Congress. 1998/08, Montpellier, France, CIRAD, poster summary 1 p.

Langellier P., 1994. La fertilisation en micro-irrrigation. Manuel de l'utilisateur. CIRAD, Saint-Denis, La Réunion, 14 p. + 23 p. annexes.

Léger C., Sabathier T., 2002. Atlas de l'environnement, île de La Réunion. Direction régionale de l'environnement (DIREN Réunion), La Réunion, France, 79 p.

Bibliographie

Masson J., 2006. Elaboration d'un référentiel technico-économique des exploitations cannières de la Réunion en 2005. CIRAD, Station La Bretagne, Saint-Denis ; DAF, Saint-Denis, La Réunion, France, mars 2006, 27 p.

Mission de valorisation agricole des déchets, Chambre d'agriculture de La Réunion (MVAD). Site Internet de la valorisation agricole des matières organiques à la Réunion. [On-line] [11/10/2006]. < URL http://www.mvad-reunion.org/ > rubriques Caractérisation des matières organiques, Expérimentations, Valorisation des matières organiques, Publications, Liens.

Moberly P.K., 1991. Agronomy section, report on sugarcane nutrition. ISSCT workshop, SASRI (anciennement SASEX), Mount Edgecombe, Afrique du Sud, 80 p.

Muchow R.C., Robertson M.J., 1996. Effect of nitrogen on the time-course of sucrose accumulation in sugarcane. Field crops research, 47 : 143-153.

Ng Kee Kwong K.F., Paul J.P., Deville J., 1999. Drip-fertigation: a means for reducing fertilizer nitrogen to sugarcane. Experimental Agriculture, 35 (1) : 31-37.

Pouzet D., Chabalier P.F., 1999. Evaluation du conseil en fertilisation de la canne à sucre. Bilan de 5 années de tests en milieu paysan. CIRAD, Saint-Denis, La Réunion, 15 p.

Pouzet D., Légier P., 2003. Distribution statistique des conseils en fertilisation d'entretien de la canne à sucre à la Réunion. CIRAD, Saint-Denis, La Réunion, 18 p.

Pouzet D., Chabalier P.-F., Légier P., 1997. Diagnostic de fertilité et conseils en fertilisation des principales cultures réunionnaises. Agriculture et développement 16, 18-37.

Pouzet D., Chabalier P.F., Legier P., 1998. Fertilité des sols et conseil en fertilisation, système expert d'interprétation des analyses chimiques des sols réunionnais. CIRAD, Saint-Denis, La Réunion, France, n° 1-98, 98 p.

Pouzet D., Letourmy P., Légier P., 2003. Evaluation de la fertilité des sols réunionnais cultivés, à partir des conseils en fertilisation de la canne à sucre. CIRAD, Saint-Denis, La Réunion, France, 34 p.

Pouzet D., Martiné J.F., Leinhart B., 1999. Evaluation des conseils en fertilisation de la canne pour des hauts rendements. CIRAD, Saint-Denis, La Réunion, 34 p.

Purchase B.S., 1996. The effect of cane quality on factory operations. Sugar Milling Research Institute, Durban, Afrique du Sud. *In* Proceedings of the South African Sugar Technologists' Association, 70 : 289-291.

Raunet M., 1991. Le milieu physique et les sols de l'île de La Réunion. Conséquences pour la mise en valeur agricole. Document CIRAD, Région Réunion, Saint Denis, Réunion, France, 438 p + 4 cartes couleur au 1/50000.

Robertson M.J., Muchow R.C., Wood A.W., Campbell J.A., 1996. Accumulation of reducing sugars by sugarcane: effects of crop age, nitrogen supply and cultivar. Field Crop Research, 49 : 39-50.

Roebroeck H., 2004. Cap sur la fertilisation raisonnée. Guide agronomique. Editions Agro-systèmes, La Membrolle sur Choisille, France, 63 p. Voir aussi [On-line] [21/11/2006]. < URL http://www.agro-systemes.com/accueil.php >.

Schroeder B.L., Wood A.W., 2004. Cane trash and calcium-based soil amendments: a combination too good to miss. BSES, CSIRO, Townsville, Australia. *In* Proceedings of the Australian Society of Sugarcane Technologists, 26 : 28.

Science direct : accès en ligne de nombreuses parutions scientifiques ou de leur résumé. [On-line] [18/10/2006]. < URL http://www.sciencedirect.com >.

Soltner D., 2003. Les bases de la production végétale. Tome 1 : le sol et son amélioration. Troisième édition, Collection Sciences et techniques agricoles, Bressuires, France, 472 p.

Union des industries de la fertilisation. [On-line] [11/10/2006]. < URL http://www.unifa.fr >.

Van Dillewijn C., 1960. Botanique de la canne à sucre. Centre techniques de la canne et du sucre de la Guadeloupe et Martinique, France, 390 p.

Vilain M., 1997. La production végétale. Troisième édition, collection Agriculture aujourd'hui, Lavoisier Tec et Doc, Paris, 480 p. ISBN 2743002182.

Wiedenfeld R.P., 1995. Effects of irrigation and N fertilizer application on sugarcane yield and quality. Field Crop Research, 43 : 102-108.

Wood A.W., Muchow R.C. Robertsonn M.J., 1996. Growth of sugarcane under high input conditions in tropical Australia. III. Accumulation, partitioning and use of nitrogen. Field Crop Research, 48 : 223-233.

Guide de la fertilisation de la canne à sucre à La Réunion

Le Guide de la fertilisation de la canne à sucre à La Réunion paraît un an après *le Guide de la fertilisation organique à La Réunion* (Chabalier et *al.*, 2006, co-édition CIRAD et Chambre d'agriculture de La Réunion, diffusé par la Chambre d'agriculture de La Réunion). Pour les acteurs de la filière canne, il semblait opportun de réaliser un ouvrage complémentaire spécifique de la canne à sucre, présentant l'ensemble du raisonnement lié à la fertilisation organique et minérale de cette culture.

De nombreux techniciens, spécialistes et chercheurs des différents organismes de la filière canne à sucre de La Réunion ont participé à la rédaction de ce guide. Cet ouvrage présente les principes agronomiques fondamentaux liés à la fertilisation et les méthodes de calcul des apports d'engrais et d'amendements. Il fait aussi le point sur les produits fertilisants et amendants minéraux et organiques disponibles sur le marché de La Réunion. Les matériels et les techniques d'épandage sont également détaillés, ainsi que la pratique de la fertigation. L'ouvrage propose aussi de nombreux exemples d'application adaptés aux conditions réunionnaises.

Ce guide polyvalent est un outil utile pour les professionnels de la filière canne à sucre – agriculteurs, techniciens, chercheurs, ingénieurs… – qui désirent mettre à jour leurs connaissances ou améliorer leurs méthodes de travail en fertilisation.

© CIRAD 2007
www.cirad.fr
www.cirad.fr/reunion
ISBN CRAD : 978-2-87614-640-2
EAN CIRAD : 9782876146402

Diffusion
Association réunionnaise pour le développement de la technologie agricole et sucrière (ARTAS)
c/o CERF (Centre d'essai de recherche et de formation de la canne et du sucre)
La Bretagne, BP 315, 97494 Sainte Clotilde Cedex, La Réunion, France
Téléphone : 02 62 94 81 50 - Télécopie : 02 62 94 81 59

Code barre

Prix 22,00 €